Aus dem Institut für Anaesthesiologie der

Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. M. ZINDLER

Das Zweischrittnomogramm zur Bestimmung der Atemminutenvolumina in Narkose

(Ein Nomogramm zur Bestimmung der Atemvolumina auch in Hypothermie und Hyperventilation)

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin.
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Rudolf Nussbaum

1977

1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544324_0084

Aus dem Institut für Anaesthesiologie der

Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. M. ZINDLER

Das Zweischrittnomogramm zur Bestimmung der Atemminutenvolumina in Narkose

(Ein Nomogramm zur Bestimmung der Atemvolumina auch in Hypothermie und Hyperventilation)

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin.
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Rudolf Nussbaum

1977

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
gez. Prof. Dr. A. Hopf

1. Berichterstatter
gez.: Prof. Dr. med. M. Zindler

2. Berichterstatter
gez.: Prof. Dr. med. H. Hensell

Meinem Vater in Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
Patientengut und Untersuchungsgang	2
Methodik	5
Grundlagen zum Aufbau des Nomogrammes	6
a) Berechnung der alveolaren Ventilation	6
b) Berechnung des Atemminutenvolumens	8
c) Berechnung des Atemminutenvolumens mit dem Zweischritt-Nomogramm	9
d) Hypothermie	9
e) Hyperventilation	10
f) Rechenbeispiel	10
Untersuchungsergebnisse	12
Diskussion	26
1. Aufbau der Nomogramme	26
Hypothermie	27
Hyperventilation	29
2. Prüfung der Zuverlässigkeit der untersuchten Nomogramme	30
Zusammenfassung	32
Anhang	33
Symbole und Abkürzungen für die Lungenfunktionswerte	33
Literaturverzeichnis	34

Einleitung

Die Suche nach einfachen Methoden zur Bestimmung des erforderlichen Atemminutenvolumens bei der kontrollierten Beatmung führte aufgrund von theoretisch entwickelten mathematischen Formeln zum Aufbau von Nomogrammen.

Um aus einfachen Patienten-Parametern, wie Körpergewicht, Alter, Geschlecht, das Atemminutenvolumen zu berechnen, sollten Grundumsatzbedingungen vorliegen.

Das RADFORD-Nomogramm (11) wurde mit Hilfe der Grundumsatzbestimmungen von BENEDICT und TALBOT (23) entwickelt. NUNN (17) hingegen übernahm die Grundumsatzbestimmungen von AUB und DU BOIS (24).

Das hier dargestellte Zweischrittnomogramm basiert auf den Grundumsatzwerten von FLEISCH (10) (Abb. 1, S. 1a). Seine Grundumsatztabellen wurden zusammengestellt aus den gemittelten Messungen von 24 verschiedenen Autorengruppen. Der Vorteil dieser Werte liegt in der großen Zuverlässigkeit, da ein großes Patientengut berücksichtigt wurde und daher eine lückenlose Atemvolumenbestimmung aller Altersgruppen erlaubt.

Bei den bekannten Nomogrammen beziehen sich die Sollwerte nur auf normotherme Patienten. In der Praxis sinkt die Körpertemperatur häufig unter 37°C oder in der kontrollierten Hypothermie auf Körpertemperaturwerte zwischen 28 und 32°C. Die Anwendung des Zweischrittnomogrammes erlaubt durch eine Anschlußberechnung auch die Bestimmung der Atemvolumina bei Patienten in Hypothermie.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Atemvolumina bei Hyperventilation zu berechnen, da diese Beatmungstechnik in der Neuroanästhesie erforderlich ist.

Somit kann mit dem Zweischrittnomogramm der Kohlensäurepartialdruck sowohl in der Hypothermie und/oder Hyperventilation bei cardiopulmonal gesunden Patienten gut eingestellt werden.

Anhand eines Kollektivs von 69 Patienten wurde die Brauchbarkeit dieses Nomogrammes überprüft und mit den Nomogrammen von RADFORD und von NUNN verglichen.

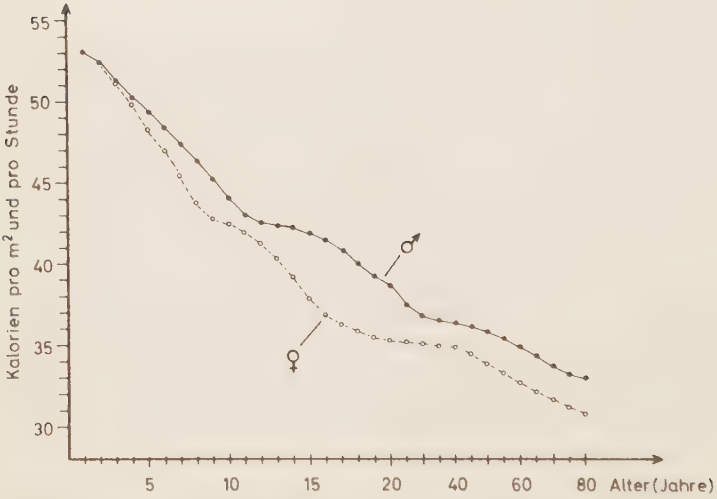


Abb. 1 Standardwerte für den Faktor Cal/m² als Funktion des Alters und des Geschlechts nach A. Fleisch.

Patientengut und Untersuchungsgang

Die Untersuchung wurde bei 69 neurochirurgischen Patienten durchgeführt (s. Tab. 1, S 3)

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 47 Jahre (Bereich 13 bis 71 Jahre).

Die Geschlechtsverteilung findet sich auf Tabelle 1.

Bei 59 Patienten lag die Rektaltemperatur während der Untersuchungsperiode zwischen 35 und 37°C, während bei 10 Patienten in Hypothermie eine Temperatur zwischen 29 und 33°C gemessen wurde.

Das Patientengut wurde entsprechend der Narkosetechnik in zwei Kollektive aufgeteilt. Die erste Patientengruppe wurde in Neuroleptanästhesie untersucht (42 Patienten), das zweite Kollektiv von 27 Patienten erhielt eine Inhalationsnarkose (Ethrane, Halothane, Methoxyflurane). Alle Patienten wurden kontrolliert beatmet mit einem Lachgas-Sauerstoff-Gemisch im Verhältnis 1:1.

Das Atemzug- und das Atemminutenvolumen wurden mit einem nachgeeichten Wright-Respirometer gemessen.
Die Patienten wurden in Narkose hyperventiliert (P_{aCO_2} zwischen 25 und 30 mm Hg).
Die Einstellung des Atemminutenvolumens wurde durch die Kontrolle des Kohlensäurespiegels des arteriellen Blutes überprüft.

Die gemessenen Atemvolumina wurden mit den vom Nomogramm abgelesenen Werten verglichen. Hierzu diente das Zweischrittnomogramm (Abb. 2, S. 9a) sowie die Nomogramme von RADFORD und von NUNN.

Der Vergleich wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

Zunächst wurden die Mittelwerte der Einzelwerte gebildet. Folgende Parameter und Kenngrößen gingen in die Berechnung der Atemvolumina ein:

1) Atemminutenvolumina korrigiert auf ATPS und BTPS-Bedingungen
2) die Atemfrequenz
3) der arterielle CO_2-Druck
4) die Körpertemperatur
5) Alter, Geschlecht, Gewicht und Größe der Patienten

Tabelle 1

Angaben zum Patientengut (Normothermie n = 59, Hypothermie n = 10)

	Normothermie	Hypothermie
männlich	22	5
weiblich	37	5
Neuroleptanästhesie	42	-
andere Anästhesie (Ethrane, Penthrane)	17	10
Alter (Jahre)	47,8 ± 15,3	34,0 ± 13,4
Schwankungsbreite	13,0 - 71,0	16,0 - 53,0
Gewicht (kg)	69,6 ± 15,9	69,0 ± 12,9
Schwankungsbreite	41,0 - 109,5	53,7 - 100,0
Körperoberfläche (m^2)	1,781 ± 0,216	1,806 ± 0,194
Schwankungsbreite	1,4 - 2,25	1,58 - 2,29

Die Abweichungen des P_{aCO_2} und der Temperatur der anästhesierten Patienten vom Normbereich wurden entsprechend der Nomogrammbeschreibung (s.S. 9) korrigiert.

Mit Hilfe der gemittelten P_{aCO_2}-Werte wurden die Soll-Werte für die Atemvolumina ermittelt:

a) Im Nomogramm von NUNN über das Körpergewicht, Geschlecht und den P_{aCO_2}-Werten. Der während der Narkose erniedrigte Metabolismus wird auf 85% vom Grundumsatz eingestellt. Das Atemminutenvolumen ist in l/min BTPS abzulesen.

b) Im RADFORD-Nomogramm über Körpergewicht, Geschlecht und Atemfrequenz wird das notwendige Atemminutenvolumen in l/min ATPS abgelesen (entsprechend einem P_{aCO_2} von 40mm Hg und einer Körpertemperatur von 37°C).

c) Im Zweischrittnomogramm konnten die Atemvolumina (l/min ATPS) errechnet werden unter Berücksichtigung des Geschlechts, der Körperoberfläche und des Alters der Patienten.

Um diese berechneten Werte der Atemminutenvolumina vergleichbar zu machen, wurden die Abweichungen durch Temperatur- und Kohlensäurepartialdrucksenkung mit einer Nachfolgerechnung korrigiert. Zusätzlich wurde ein Quotient gebildet durch Division des Ist-Wertes der Atemgröße durch den Soll-Wert. Im Idealfall stimmt der Prädiktionswert der Nomogramme (Soll-Wert) mit dem Ist-Wert überein und der Quotient ist 1. Bei Schwankungen des Ist-Wertes über und unter dem Soll-Wert ist der Quotient größer oder kleiner als 1.

Methodik

a) Untersuchung

Die Patienten wurden nach Einleitung der Narkose mit einem Dräger-Narkosespiromat 650 kontrolliert beatmet. Das Verhältnis zwischen Einatmungs- und Ausatmungsphase (Atemzeitquotient 1 : 1,5) wurde konstant gehalten.

Das Atemminutenvolumen wurde mit einem Wright-Spirometer am Beginn des exspiratorischen Kreislaufschenkels gemssen. Die Messungen erfolgten im stady state Zustand. Zur Blutgasanalyse wurden der pH, das P_{aCO_2} und das P_{aO_2} aus dem arteriellen Blut bestimmt. Hierzu diente das Gerät zur Mikrobestimmung von Blutproben von IL (Instrumentation Laboratory Boston, Massachussetts) Modell 127 und die Meßeinheit Typ 125.

Zur pH-Messung wurde eine modifizierte Glaselektrode, zur P_{O_2}-Messung eine Clark'sche Elektrode und zur P_{CO_2}-Messung die Severinghaus'sche Modifikation der Glaselektrode verwendet.

Die Meßtemperatur des Blutgasanalysegerätes wurde auf 37°C eingestellt. Die Temperaturdifferenz zwischen Blutprobe und Gerätetemperatur wurde mit Hilfe des Blutgaskalkulators Typ BGC 1 (Radiometer nach SEVERING-HAUS) korrigiert.
Die Patiententemperatur wurde sowohl über Rektal- als auch Oesophageal-temperatursonden gemessen.

b) Statistik

Die Signifikanz der Unterschiede zwischen den verschiedenen Nomogrammen wurde mit dem statistischen t-Test mittels eines Rechnerprogrammes untersucht.

Grundlagen zum Aufbau des Nomogrammes

a) Berechnung der alveolaren Ventilation

Das Kohlendioxyd in der Exspirationsluft kann nur aus der Alveolarluft stammen, da die Inspirationsluft praktisch kein CO_2 enthält. Das Gasvolumen von CO_2, das pro Zeiteinheit mit der Exspirationsluft ausgeschieden wird ($\dot{V}_{CO_2}$)* entspricht dem alveolaren Ventilationsvolumen in der Zeiteinheit ($\dot{V}_A$) multipliziert mit der CO_2-Konzentration des Alveolargasgemisches ($F_{A_{CO_2}}$):

$$(1) \qquad \dot{V}_{CO_2} = \dot{V}_A \cdot F_{Aco_2}$$

Der Gesamtdruck eines Gasgemisches ist gleich der Summe der Partialdrücke (Dalton'sches Gesetz). In der Alveolarluft befinden sich CO_2, O_2, N_2 und H_2O-Dampf:

$$P_{CO_2} + P_{O_2} + P_{N_2} + P_{H_2O} = P_B$$

Aus der Definition von F (Fraktion eines Gases in einem trockenen Gasgemisch) ergibt sich:

$$(2) \qquad F_{A_{CO_2}} = \frac{P_{A_{CO_2}}}{P_B - P_{H_2O}}$$

* Symbole und Abkürzungen für die Lungenfunktionswerte (siehe Anhang)

Die alveoläre CO_2-Spannung wird gleich der arteriellen CO_2-Spannung gesetzt:

$$P_{A_{CO_2}} = P_{a_{CO_2}} = P_{CO_2}$$

Der Wasserdampf-Druck bei einer Körpertemperatur von 37°C ist gleich 47 mmHg.(2) wird:

$$(2a) \qquad F_{A_{CO_2}} = \frac{P_{CO_2}}{P_B - 47}$$

$\dot{V}_A$ soll auf Meßverhältnisse (ATPS) und $\dot{V}_{CO_2}$ auf Normalverhältnisse (STPD) korrigiert werden. Die Umrechnung von $\dot{V}_A$ von ATPS auf STPD ist:

$$(3) \quad \dot{V}_A\,(STPD) = \dot{V}_A\,(ATPS) \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{P_B - P_{H_2O}\,t}{760}$$

(2a) und (3) werden in (1) eingesetzt:

$$\dot{V}_{CO_2}\,(STPD) = \dot{V}_A\,(ATPS) \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{P_B - P_{H_2O}\,t}{760} \cdot \frac{P_{CO_2}}{P_B - 47}$$

Durch Umstellung erhalten wir:

$$(4) \quad \dot{V}_A\,(ATPS) = \left(1 + \frac{t}{273}\right) \cdot \left(1 - \frac{47 - P_{H_2O}\,t}{P_B - P_{H_2O}\,t}\right) \cdot \frac{760}{P_{CO_2}} \cdot \dot{V}_{CO_2}\,(STPD)$$

P_B schwankt zwischen 700 und 780 mmHg, t von 22°C bis 25°C, die entsprechende Wasserdampfspannung P_{H_2O} von 19,8 bis 23,8 mmHg. Unter konstanten Meßbedingungen wird die Gleichung (4):

$$(5) \qquad \dot{V}_A\,(ATPS) = k \cdot \frac{\dot{V}_{CO_2}\,(STPD)}{P_{CO_2}}$$

In der o.g. Schwankungsbreite ist $k \approx 800$ (788 - 804) mmHg.
Im Falle einer Normoventilation bei einer Körpertemperatur von 37°C ist die alveoläre CO_2-Spannung 40 mmHg.

$$(6) \quad \dot{V}_A \text{ (ATPS)} = 20 \cdot \dot{V}_{CO_2} \text{ (STPD)}$$

b) Berechnung des Atemminutenvolumens

NUNN und HILL (26) haben gezeigt, daß beim gesunden (cardiopulmonal), intubierten, anästhesierten Patienten die alveoläre Ventilation ungefähr zwei Drittel vom Atemminutenvolumen ist. Daraus folgt:

$$(7) \quad \dot{V}_T \text{ (ATPS)} = 30 \cdot \dot{V}_{CO_2} \text{ (STPD)}$$

Die Gleichung besagt, daß - wenn man die CO_2-Ausscheidung pro Minute voraussagen kann - man auch das Atemminutenvolumen voraussagen kann. Die CO_2-Ausscheidung pro Minute kann aus den Grundumsatztabellen berechnet werden. Die Grundumsatz-Standardwerte geben die basale Wärmeerzeugung an. Um aus diesen Werten die CO_2-Ausscheidung zu berechnen, müssen wir das calorische Aequivalent von CO_2 kennen. PETERS und VAN SLYKE (4) stellen die Abhängigkeit des calorischen Aequivalents von CO_2 vom respiratorischen Quotienten R in folgender Formel dar:

$$(8) \quad \text{Cal/Liter } CO_2 = 5{,}047 + \frac{1{,}00 - R}{0{,}293} \cdot 1{,}582$$

Es wird vorausgesetzt, daß die Wärmeerzeugung nur durch das Verbrennen von Kohlenhydraten und Fett stammt. Üblicherweise wird ein RQ von 0,82 angenommen. In dem Falle ist das calorische Aequivalent vom Nicht-Eiweiß CO_2 5,883 Cal/Liter CO_2.

Die Grundumsatzwerte nach FLEISCH (10) in Calorien pro qm und Stunde sind eine Funktion vom Geschlecht G und Alter A (s. Abb. 1, S. 1a). Die CO_2-Ausscheidung in der Zeiteinheit ist:

$$(9) \quad \dot{V}_{CO_2} \text{ (STPD)} \left(\frac{1}{qm \cdot h}\right) = \frac{f(G,A)}{5{,}883}$$

Um die CO_2-Ausscheidung pro Minute zu bekommen, muß man noch durch 60 dividieren. Das Ergebnis wird in (7) eingesetzt und mit der Körperoberfläche des Patienten multipliziert. Das Atemminutenvolumen

wird aus der folgenden Formel berechnet:

$$(10) \qquad \dot{V}_A \text{ (ATPS)} = \frac{f(G,A)}{11{,}766} \cdot S$$

wobei S die Körperoberfläche in qm ist.

c) Berechnung des Atemminutenvolumens mit dem Zweischrittnomogramm

Das Zweischrittnomogramm dient zur Berechnung des Atemminutenvolumens. Zunächst wird aus der Körpergröße T und Gewicht P nach der Gleichung von DU BOIS die Körperoberfläche ermittelt:

$$S\ (cm^2) = P^{0{,}425}\ (Kg) \cdot T^{0{,}725}\ (cm) \cdot 71{,}84$$

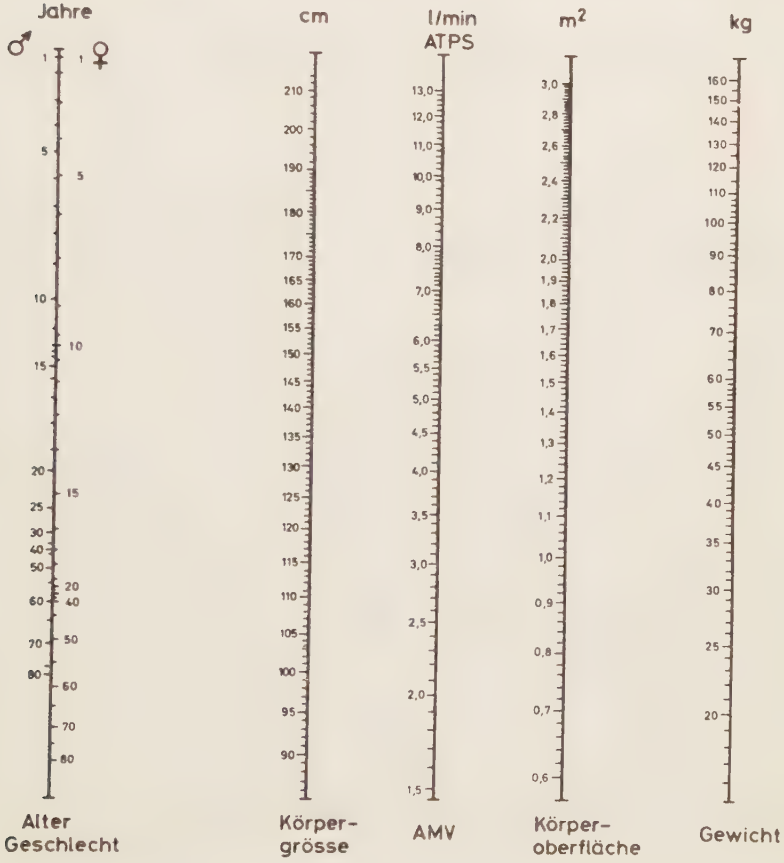
Im zweiten Schritt wird der Punkt, der die ermittelte Körperoberfläche darstellt, mit dem Punkt, der das Alter und Geschlecht auf der entsprechen Nomogrammleiter angibt, verbunden. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Nomogrammleiter für das Volumen ergibt die Ventilationsgröße in l/min (ATPS) **(Abb. 2, S. 9a).**

Die oben erzielten Richtwerte beziehen sich auf normotherme Patienten bei einer Körpertemperatur von 37°C und normaler Ventilation bei einem $P_{a_{CO_2}}$ von 40 mmHg. Mit zusätzlichen Korrekturen können die mit dem Zweischrittnomogramm errechneten Atemvolumina auf die Verhältnisse bei der Hypothermie und Hyperventilation verändert werden.

d) Hypothermie

SEVERINGHAUS hat in seiner Arbeit (12) die Normoventilation während der Hypothermie definiert und durch experimentelle Angaben untermauert. Sein Vorschlag lautet, die Normoventilation unabhängig von der Körpertemperatur als diejenige Ventilation zu definieren, bei der die CO_2-Ausscheidung gleich der CO_2-Produktion ist. Um die CO_2-Spannung bei entsprechender Körpertemperatur (d.h. Normoventilation) - wie in **Tab.2(S.10)** angegeben - zu erzielen, muß genauso ventiliert werden wie bei einer **Normoventilation bei Normothermie (37°C).**

Temperatur (°C)	37	35	33	31	29	27	25
P_{CO_2} (mm Hg)	40	36,7	33,6	30,5	27,8	25,3	22,9



Nomogramm zur Bestimmung des Atemminutenvolumen (AMV) in l/min ATPS aus Geschlecht, Alter, Körpergrösse und Gewicht

Abb. 2

Tabelle 2

Meßwerte des $P_{a_{CO_2}}$ des in vitro gekühlten Blutes (nach SEVERINGHAUS)

Temperatur °C	37	35	33	31	29	27	25
$P_{a_{CO_2}}$ mmHg	40,0	36,7	33,6	30,5	27,8	25,3	22,9

e) Hyperventilation

Die Gleichung (9) sagt aus, daß für einen bestimmten Patienten die CO_2-Ausscheidung in der Zeiteinheit unter Grundumsatzbedingungen eine Konstante ist. Aus Gleichung (5) folgt:

(11) $\dot{V}_A \cdot P_{CO_2} = \text{konst.}$ und

(11a) $\dot{V}_T \cdot P_{CO_2} = 1{,}5 \cdot K = \text{konst.}$

Das sind Gleichungen von Hyperbeln (Abb. 3, S. 10a). Die Konstante jeder Kurve ist ein Maß für die CO_2-Ausscheidung. Bei bekannter Konstante kann man sich auf der entsprechenden Kurve bewegen und z.B. den Zustand einer Hyperventilation bestimmen. Wenn hyperventiliert wird, fällt der Kohlensäurepartialdruck entsprechend einer respiratorischen Alkalose ab. Der Grad der Hyperventilation wird durch die erstrebte CO_2-Spannung definiert.

f) Rechenbeispiel

Wie groß muß das Atemminutenvolumen für einen 45-jährigen männlichen Patienten, Größe 170 cm, Gewicht 70 kg und Körpertemperatur von 35°C sein, um eine arterielle CO_2-Spannung von 30 mmHg zu erreichen?

Aus dem Nomogramm wird im ersten Schritt die Körperoberfläche von 1,8 m^2 ermittelt. Im zweiten Schritt wird ein Ventilationsvolumen von 5,5 l/min abgelesen. Dieser Wert ist das Atemminutenvolumen für eine Normoventilation unabhängig von der Körpertemperatur. Der Sollwert der arteriellen CO_2-Spannung bei einer Normoventilation

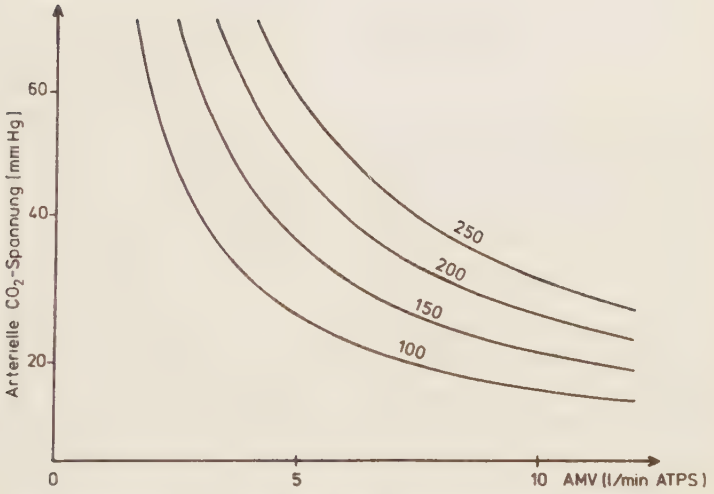


Abb. 3 Die Relation zwischen dem Atemminutenvolumen und der arteriellen CO_2-Spannung für veschiedene Werte der CO_2-Ausscheidung in ml/min

und einer Körpertemperatur von 35°C ist 36,7 mmHg (s.Tab. 2, S. 10). Die Kurve, auf der wir uns befinden, hat eine Konstante von 5,5 · 36,7 = 201,85 (siehe Gleichung Nr. 11). Das Atemminutenvolumen, das eingestellt werden muß, wird aus der Gleichung (11) berechnet:

$$\dot{V}_T = \frac{\text{konst.}}{P_{CO_2}} = \frac{201,85}{30} = 6,73 \text{ l/min (ATPS)}$$

Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden in den Tabellen 3 und 4 und Abbildungen 4 bis 13 aufgeführt.

Die Tab.3(S.13)gibt den Mittelwert, Standardabweichung und Streuungsbreite des Quotienten $\dot{V}_T$ ist/$\dot{V}_T$ soll (Prädiktionsgrad) für jedes Nomogramm, die Atemfrequenz, die arterielle CO_2-Spannung und die Patiententemperatur an. Die gemessenen Werte sind das Atemminutenvolumen (ATPS oder BTPS), die Atemfrequenz, die mit Thermosonden ermittelte Rektaltemperatur und die auf diese Temperatur korrigierte arterielle CO_2-Spannung.

Das Vorliegen eines signifikanten Unterschiedes zwischen den Nomogrammen, gesamt und bei Trennung des Patientenkollektivs nach Geschlecht und Narkosetechnik, wurde durch einen statistischen Test (t-Test) untersucht. Die Berechnung erfolgte mittels eines Rechnerprogrammes im Rechenzentrum der Universität Düsseldorf.

Die Ergebnisse sind in der Tab.4(S.14)dargestellt. Bei Betrachtung des gesamten Kollektivs zeigt sich zwischen dem Zweischritt- und dem NUNN-Nomogramm kein signifikanter Unterschied. Dafür besteht ein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Nomogrammen und dem RADFORD-Nomogramm.

Die Trennung nach Geschlecht ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen dem Zweischritt- und dem NUNN-Nomogramm, wobei für männliche Patienten das NUNN-Nomogramm bessere Ergebnisse vorweist und für weibliche Patienten das Zweischrittnomogramm deutlich überlegen ist. Das RADFORD-Nomogramm zeigt auch hier eine schlechtere Treffgenauigkeit. Bei getrennter Betrachtung der Neuroleptanästhesie ergeben das Zweischritt- und das NUNN-Nomogramm eine gleichwertige Genauigkeit, die dem RADFORD-Nomogramm deutlich überlegen ist.

Die Abb. 4 bis 6 (S.16 bis S.18) zeigen das Verhalten des Prädiktionsgrades $\dot{V}_T$ ist/$\dot{V}_T$ soll in Abhängigkeit vom Patientenalter durchgehend bis

Tabelle 3

Mittelwerte, Standardabweichung und Schwankungsbreite für den Quotienten $\dot{V}_T$ ist/$\dot{V}_T$ soll für jedes Nomogramm, Atemfrequenz AF, arterielle CO_2-Spannung P_{CO_2} und Körpertemperatur

	Normothermie	Hypothermie
Zweischritt-Nomogramm	1,04 ± 0,146	0,824 ± 0,180
Schwankungsbreite	0,62 - 1,27	0,56 - 1,12
NUNN-Nomogramm	1,048 ± 0,143	0,685 ± 0,156
Schwankungsbreite	0,61 - 1,29	0,45 - 0,92
RADFORD-Nomogramm	1,098 ± 0,170	0,850 ± 0,224
Schwankungsbreite	0,69 - 1,45	0,48 - 1,17
AF (min^{-1})	13,8 ± 2,5	15,0 ± 1,5
Schwankungsbreite	10,0 - 20,0	12,0 - 18,0
P_{CO_2} (mmHg)	32,72 ± 3,45	26,0 ± 7,93
Schwankungsbreite	24,0 - 46,0	15,0 - 38,0
Körpertemperatur (°C)	35,2 ± 0,711	30,7 ± 0,844
Schwankungsbreite	33,4 - 37,0	29,2 - 32,0

Tabelle 4

Statistische Untersuchung auf Signifikanz der Nomogramme untereinander. t-Test (D = Zweischritt-Nomogramm, N = NUNN-Nomogramm, R = RADFORD-Nomogramm)

		n	Mittelwert	Standard-Abweichung	p
gesamt					
D	und	59	1,0404	0,146	$> 0{,}5$
N			1,0476	0,143	
D	und	59	1,0404	0,146	$< 0{,}001$
R			1,0985	0,170	
N	und	59	1,0476	0,143	$< 0{,}001$
R			1,0985	0,170	
männlich					
D	und	22	1,0795	0,113	$< 0{,}005$
N			1,0345	0,113	
D	und	22	1,0795	0,113	$> 0{,}5$
R			1,0791	0,160	
N	und	22	1,0345	0,113	$< 0{,}05$
R			1,0791	0,160	
weiblich					
D	und	37	1,0172	0,159	$< 0{,}05$
N			1,0554	0,159	
D	und	37	1,0172	0,159	$< 0{,}001$
R			1,1100	0,177	
N	und	37	1,0554	0,159	$< 0{,}01$
R			1,1100	0,177	
Neuroleptanästhesie					
D	und	42	1,0656	0,121	$> 0{,}5$
N			1,0714	0,138	
D	und	42	1,0656	0,121	$< 0{,}01$
R			1,1233	0,169	
N	und	42	1,0714	0,134	$< 0{,}01$
R			1,1233	0,169	

80 Jahre, bis 40 Jahre und von 40 bis 80 Jahre. Die Abhängigkeit von Körpergewicht (Abb. 7, S. 19), der Körperoberfläche (Abb. 8, S. 20), der Körpertemperatur (Abb. 9, S. 21), der Atemfrequenz (Abb. 10, S. 22) und der arteriellen CO_2-Spannung (Abb. 11, S. 23) wird als Vergleich zwischen den Nomogrammen dargestellt.

Im gesamten Altersbereich 10 bis 70 Jahre und im Teilbereich 10 bis 40 Jahre sind das Zweischritt- und das NUNN-Nomogramm genauer als das RADFORD-Nomogramm. Im oberen Altersbereich (ab 40 Jahre) besteht kein eindeutiger Unterschied zwischen den Nomogrammen.

Im unteren Körpergewichtbereich (bis 75 kg) ist das Zweischritt- und das NUNN-Nomogramm genauer, ab 75 kg wird das RADFORD-Nomogramm besser. Für eine Körperoberfläche bis 2,0 m^2 ergeben die ersten zwei Nomogramme eine bessere Voraussage.

Im Temperaturbereich 34 bis 37°C ist der Prädiktionsgrad für das Zweischritt- und das RADFORD-Nomogramm fast eine Konstante (temperaturunabhängig).

Im Atemfrequenzbereich 10 bis 20 zeigen das Zweischritt- und das NUNN-Nomogramm eine sehr gute Übereinstimmung. Die Voraussage mit dem RADFORD-Nomogramm wird erst im oberen Atemfrequenzbereich besser. Alle drei Nomogramme zeigen im Bereich 30 bis 40 mmHg eine gute Übereinstimmung.

Die Abb. 12 (S. 24) für Normothermie und die Abb. 13 (S. 25) für Hypothermie geben den Streuungsbereich (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) der drei Nomogramme an. Im normothermen Bereich zeigt sich eine Übereinstimmung zwischen dem Zweischritt- und dem NUNN-Nomogramm bei größerer Streuungsbreite für das RADFORD-Nomogramm. Im hypothermen Bereich ergibt das Zweischritt-Nomogramm eine zuverlässigere Voraussage.

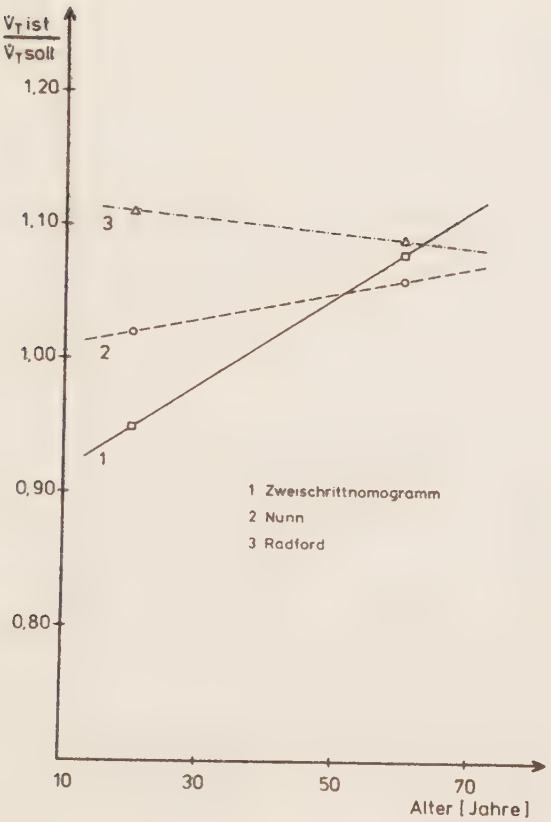


Abb. 4. Die Regressionsgraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T$ist/$\dot{V}_T$soll) in Abhängigkeit vom Alter. Das Zweischrittnomogramm erlaubt eine zuverlässige Voraussage im Altersbereich zwischen 10 und 70 Jahre (Gesamtbereich) (n = 59)

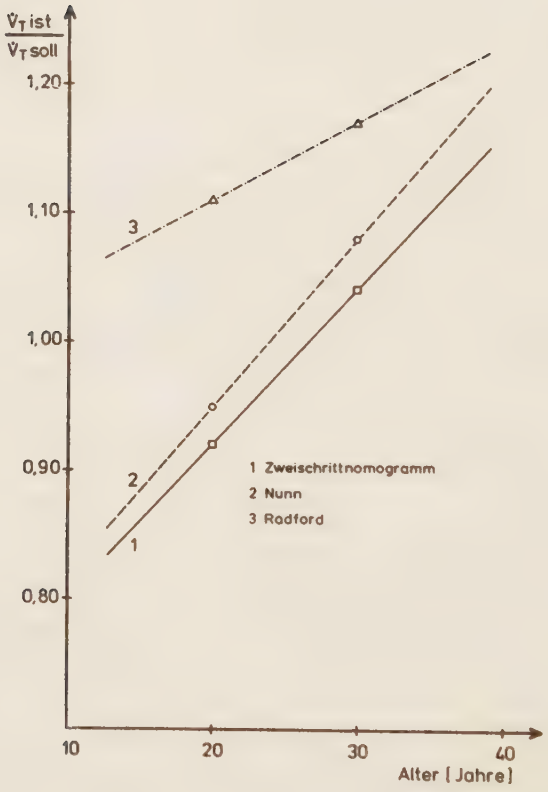


Abb. 5. Die Regressionsgeraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T$ist/$\dot{V}_T$soll) in Abhängigkeit vom Alter im Teilbereich zwischen 1o und 40 Jahre (n = 19).
Es zeigt sich eine Uebereinstimmung zwischen dem Zweischritt- und dem Nunn- Nomogramm

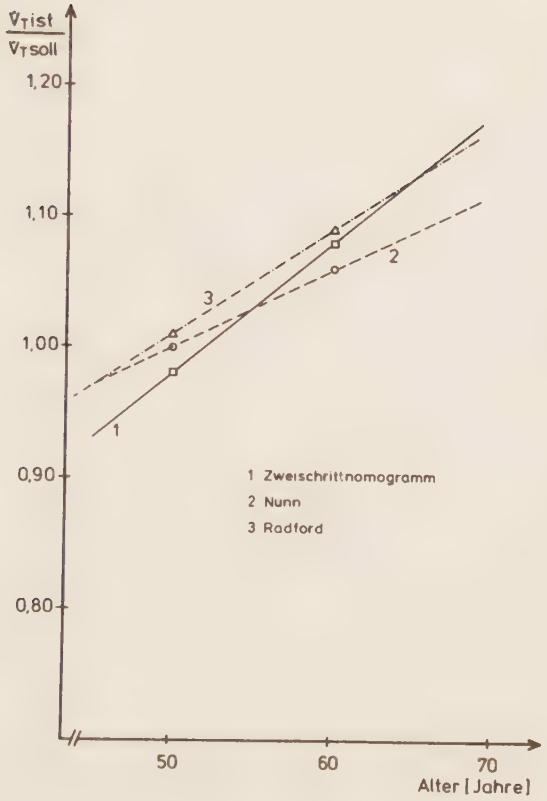


Abb. 6. Die Regressionsgeraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($V_T$ist/$V_T$soll) in Abhängigkeit vom Alter im Teilbereich zwischen 40 und 80 Jahre (n = 40).
In dieser Altersgruppe zeigt sich eine gute Uebereinstimmung aller Nomogramme

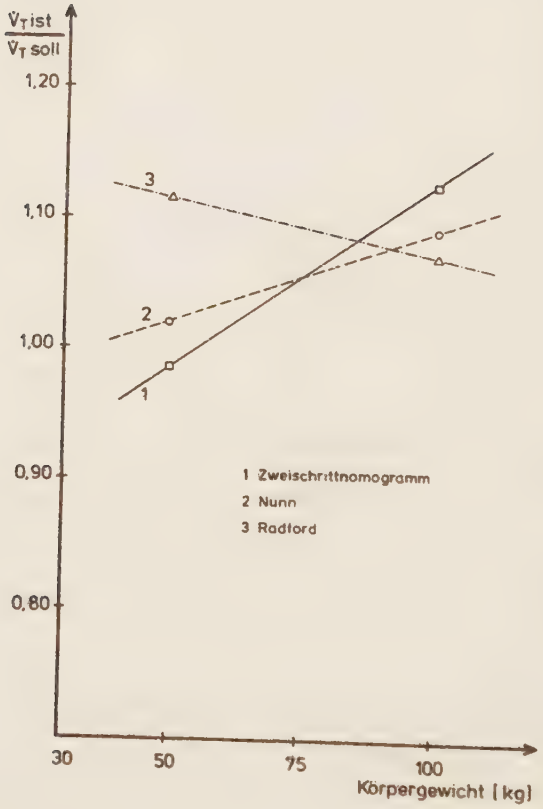


Abb. 7. Die Regressionsgeraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T$ist/$\dot{V}_T$soll) in Abhängigkeit vom Körpergewicht (n = 59). Im unteren Körpergewichtbereich ist die Voraussage mit dem Zweischritt- und dem Nunn- Nomogramm genauer. Im oberen Bereich zeigt sich das Radford-Nomogramm geeigneter.

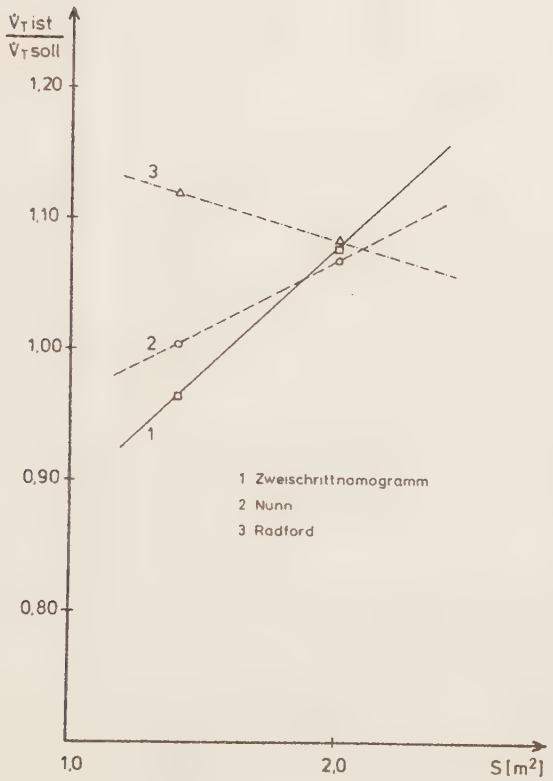


Abb. 8. Die Regressionsgeraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T$ist/$\dot{V}_T$soll) in Abhängigkeit von der Körperoberfläche (n = 59). Für eine Körperoberfläche unter 2,0 m^2 ergeben die Nomogramme 1 und 2 (Zweischritt- und Nunn-Nomogramm) eine bessere Voraussage.

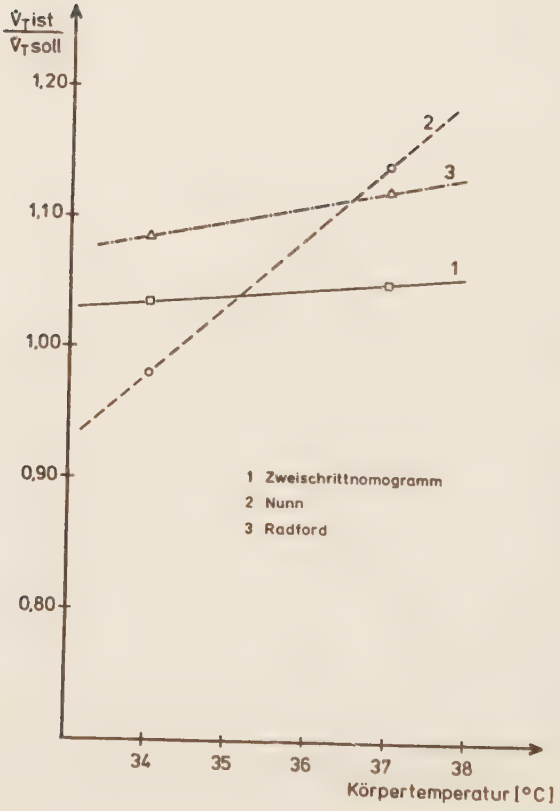


Abb. 9. Die Regressionsgeraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T$ist/$\dot{V}_T$soll) in Abhängigkeit von der Körpertemperatur (n = 59). Im Temperaturbereich 34° bis 37°C ist der Prädiktionsgrad für 1 und 3 fast eine Konstante (s. Text)

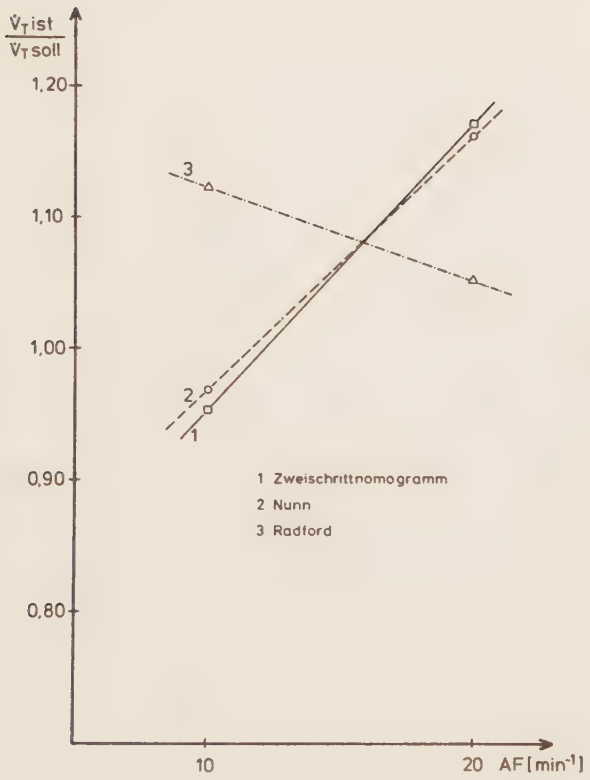


Abb. 10. Die Regressionsgeraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T ist/\dot{V}_T soll$) in Abhängigkeit von der Atemfrequenz AF (n = 59). Im Atemfrequenzbereich 10 bis 20 zeigen das Zweischritt- und das Nunn- Nomogramm eine sehr gute Uebereinstimmung. Die Voraussage mit dem Radford- Nomogramm wird erst im oberen Atemfrequenzbereich besser.

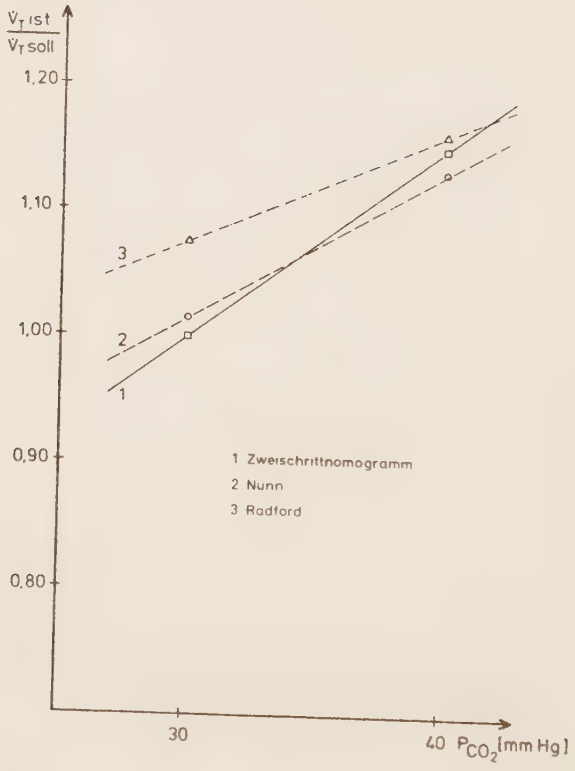


Abb. 11. Die Regressionsgeraden 1,2,3 zeigen den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T$ist/$\dot{V}_T$soll) in Abhängigkeit von der arteriellen CO_2-Spannung (n = 59). Alle drei Nomogramme zeigen im Bereiche 30 bis 40 mm Hg eine gute Uebereinstimmung.

Abb. 12. Normothermie. Streuungsbreite = Mittelwert ± Standardabweichung für den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T$ist/$\dot{V}_T$soll). Es zeigt sich eine Uebereinstimmung von 1 und 2 bei grösserer Streuungsbreite von 3.

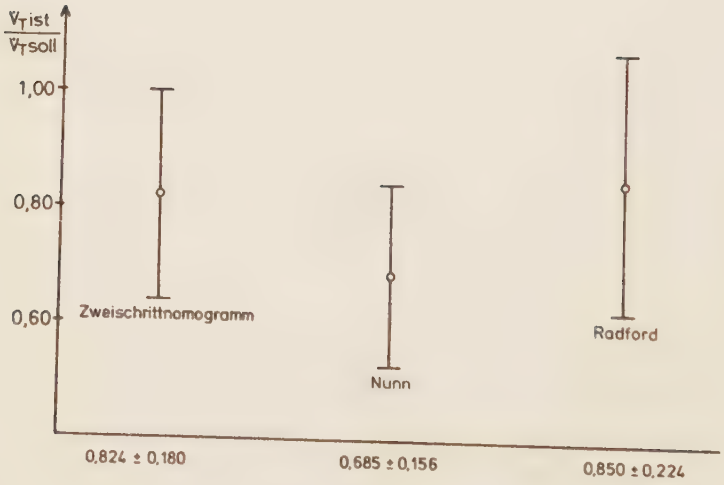


Abb. 13. Hypothermie. Streuungsbreite = Mittelwert ± Standardabweichung für den Prädiktionsgrad ($\dot{V}_T ist/\dot{V}_T soll$). Beim Vergleich aller drei Nomogramme ergibt sich eine zuverlässigere Voraussage mit dem Zweischrittnomogramm.

Diskussion

1. Aufbau der Nomogramme

Die bekanntesten Nomogramme zur Bestimmung des Atemminutenvolumens für eine Normoventilation (arterielle CO_2-Spannung zwischen 38 und 42 mmHg) bei der kontrollierten Beatmung sind die von RADFORD (11) und NUNN (17). Mit dem RADFORD-Nomogramm wird ein Wert bestimmt, der nur für eine arterielle CO_2-Spannung von 40 mmHg (Normoventilation bei einer Körpertemperatur von 37°C) gültig ist. Auf den Einfluß der Körpertemperatur wird eingegangen, soweit sie über 37°C steigt (d.h. bei Fieber). Der Temperaturbereich unter 37°C, mäßige Hypothermie 36 bis 33°C (ein Bereich, der in unserer Darstellung als normotherm bezeichnet wird) und ausgeprägte Hypothermie von 33 bis 28°C, wird in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Das gleiche gilt auch für das NUNN-Nomogramm. Hier besteht dafür die Möglichkeit, eine Hyperventilation über die erniedrigte arterielle CO_2-Spannung einzustellen. Der Zustand eines während der Narkose erniedrigten Metabolismus (durch Narkose, niedrigere Körpertemperatur) kann ebenfalls im NUNN-Nomogramm mit berücksichtigt werden.

Mit dem Zweischritt-Nomogramm wird zwar zunächst das Atemminutenvolumen für eine Normoventilation bei 37°C bestimmt, wird dann aber durch eine Nachfolgeberechnung auf Hypothermie und/oder Hyperventilation korrigiert. Die Umrechnung auf den hypothermen Zustand stützt sich auf experimentelle Angaben von SEVERINGHAUS (12).

Die Grundumsatzwerte, die für den Aufbau des Zweischritt-Nomogrammes eingesetzt wurden, sind 1955 von FLEISCH (10) durch eine geglättete Mittelung von Grundumsatzmessungen verschiedener Autorengruppen erstellt worden. RADFORD bezieht seine Werte von BENEDICT und TALBOT (23) aus dem Jahre 1921, NUNN, von AUB und DU BOIS (24) aus dem Jahre 1917. Die Werte von FLEISCH bieten eine bessere Genauigkeit in allen Altersgruppen.

NUNN und RADFORD vernachlässigen den Einfluß des Alters auf den Grundumsatz. Das stimmt, solange man sich im Bereich des Erwachsenenalters bewegt. Bei der Annahme eines mittleren Wertes ist die Abweichung ± 6%. Wenn aber auch das Kindesalter einbezogen wird, ist die Abweichung ± 25%.

NUNN und RADFORD verwenden im Aufbau ihrer Nomogramme Grundumsatzwerte als Funktion des Körpergewichtes. Im Zweischritt-Nomogramm sind Werte eingesetzt worden, die eine Abhängigkeit von der Körperoberfläche zeigen. Die Körperoberfläche (aus Gewicht und Größe berechnet) kann den Patienten besser beschreiben, als wenn nur das Gewicht berücksichtigt wird.

Im NUNN-Nomogramm ist die Voraussage des Atemminutenvolumens auf Körperverhältnisse (BTPS) bezogen. Im RADFORD- und Zweischritt-Nomogramm ist das Ergebnis auf die Meßverhältnisse (ATPS) angegeben und dadurch wird die Einstellung des Beatmungsgerätes erleichtert (es entfällt die Umrechnung BTPS auf ATPS).

RADFORD betrachtet den respiratorischen Totraum als eine Konstante, die nur vom Körpergewicht abhängt. NUNN hat aufgrund seiner Messungen den Totraum als veränderlich eingesetzt, und zwar ein Drittel des Atemzugvolumens. Wir haben im Aufbau des Zweischritt-Nomogrammes die Ergebnisse von NUNN übernommen. Der respiratorische Quotient RQ ist bei RADFORD 0,8, bei NUNN und bei uns 0,82.

Hypothermie

Neben diesen Abweichungen vom Mittelwert, bedingt durch Alter, Geschlecht und Gewicht, beziehen sich die erzielten Soll-Werte nur auf normotherme Patienten (37°C).

In Narkose fällt die Körpertemperatur spontan unter 37°C oder wird in der kontrollierten Hypothermie auf Werte zwischen 28 - 32°C gesenkt. Es stellt sich somit die Frage, ob die Soll-Werte bei 37°C auch auf hypotherme Verhältnisse angewandt werden können.

SEVERINGHAUS (12) bestimmte die Soll-Werte des P_{CO_2} in Hypothermie bei in vitro-Untersuchungen. Durch die Zunahme der Löslichkeit des CO_2 fällt der Normalwert entsprechend der Temperatursenkung ab (s.Tab.2, S. 10). Der Autor definiert die Normoventilation in Hypothermie als diejenige Atemgröße, die ein Gleichgewicht zwischen CO_2-Ausscheidung und CO_2-Produktion erlaubt. Somit wird die Ventilationsgröße nicht ausschließlich als Funktion der Temperatursenkung betrachtet, sondern in Abhängigkeit von der Stoffwechselhöhe. Denn in der Hypothermie bei erhaltener Gegenregulation kann sogar der Metabolismus erheblich ansteigen.

Will man aber die Soll-Werte der Atemvolumina in der Hypothermie mit Hilfe von Nomogrammen voraussagen, müssen stabile Stoffwechselverhältnisse vorausgesetzt werden. So müssen also folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- der CO_2-Gehalt des Blutes bleibt konstant
- der pH-Wert ändert sich in vivo quantitativ entsprechend der in vitro beobachteten konstanten Veränderung von 0,0147 pH E/°C
- das $P_{A_{CO_2}}$ und $P_{a_{CO_2}}$ sowie die $P_{AaD_{CO_2}}$-Veränderungen verhalten sich quantitativ wie der Gas/Flüssigkeitsverteilungsquotient des CO_2 des in vitro gekühlten Blutes.

Der Kohlensäurepartialdruck im arteriellen Blut wird als Kenngröße der Normoventilation angesehen. Vorausgesetzt, daß die Veränderungen in vitro den in vivo-Verhältnissen entsprechen, können diese Untersuchungsergebnisse für die Bestimmung der Normoventilation in Hypothermie herangezogen werden:

Bei konstanter Ventilation (konstanter Atemfrequenz und Atemzugvolumen) beobachtete SEVERINGHAUS (12) im Tierversuch (Hunde) einen Abfall des $P_{a_{CO_2}}$ von 39,5 mmHg (bei 37°C) auf 23,1 mmHg (bei 24,7°C).

In der gleichen Publikation (12) berichtet SEVERINGHAUS über vier Patienten, die - ausgehend von einer Normoventilation bei 37°C - mit konstantem Atemminutenvolumen hypothermisiert wurden, und erreichten bei 30°C einen $P_{a_{CO_2}}$ von 29 mmHg. Bei zwei neurochirurgischen

Patienten lag der $P_{a}CO_2$ bei 27 mmHg, also fast identisch mit dem Soll-Wert bei dieser Temperatur.

Aus diesen Beobachtungen ist der Schluß erlaubt, daß eine Normoventilation in der Hypothermie gesichert ist, wenn die Atemgröße der Normoventilation bei 37°C nicht verändert wird.

Hyperventilation

In der Neuroanästhesie wird die Hyperventilation bevorzugt (26, 27, 28). Die erzeugte Hypokapnie bewirkt eine Vasoconstriction, die durch die Zunahme des cerebrovaskulären Gefäßwiderstandes zu einer Verminderung des intracerebralen Blutvolumens führt. Eine Reduktion des Hirnvolumens erleichtert den neurochirurgischen Zugang zum Operationsgebiet.

Durch eine Hypoventilation ergeben sich Komplikationen durch die Akkumulation von CO_2. Im Spätstadium kommt es, ähnlich wie bei einer CO_2-Intoxikation, zu einer generellen Depression des ZNS.

Zur Berechnung der alveolären Ventilation ist eine weitere Korrektur (s. S. 10) herangezogen worden.

Bei der praktischen Anwendung hat sich eine gute Übereinstimmung mit den errechneten Werten gezeigt.

2. Prüfung der Zuverlässigkeit der untersuchten Nomogramme

Bei dem vorliegenden Patientengut wurden die eingestellten Atemminutenvolumina mit den gemessenen arteriellen CO_2-Spannungen in Beziehung gesetzt. Retrospektiv wurde das experimentelle Atemminutenvolumen mit dem theoretisch aus den verschiedenen Nomogrammen errechneten Atemminutenvolumen verglichen. Die arterielle CO_2-Spannung gab den Ventilationszustand (Hypo-, Normo- oder Hyperventilation) an. Der Quotient $\dot{V}_T$ ist/$\dot{V}_T$ soll (experimentell/theoretisch) zeigt die Genauigkeit der Voraussage an. Der Wert 1 bedeutet eine 100%-ige Genauigkeit.

Der Verlauf der Regressionsgeraden in den Abb. 4 bis 6 zeigt, daß die Voraussage mit dem Zweischritt-Nomogramm, wenn das Alter als Vergleichsgröße genommen wird, sowohl im gesamten Altersbereich 10 bis 70 Jahre, als auch besonders im Teilbereich 10 bis 40 Jahre deutlich überlegen ist. Das beruht auf der Tatsache, daß das Nomogramm das Alter als Bezugsgröße berücksichtigt. Die anderen Nomogramme vernachlässigen den Einfluß des Alters. Erst im oberen Altersbereich zwischen 40 und 80 Jahre sind die drei Nomogramme gleichwertig.

Der Einfluß des Körpergewichtes (Abb. 7) und der Körperoberfläche (Abb. 8) zeigt keine deutlichen Unterschiede zwischen dem NUNN- und Zweischritt-Nomogramm. Für ein Körpergewicht unter 75 kg oder eine Körperoberfläche unter 2,0 m^2 ist die Voraussage mit dem Zweischritt-Nomogramm etwas besser. Oberhalb dieser Grenzen ist das NUNN-Nomogramm genauer.

In der Abb. 9 sind die Regressionsgeraden 1 und 3 (Zweischritt- und RADFORD-Nomogramm) fast parallel zu der Temperatur-Achse. Die Regressionsgerade, die dem NUNN-Nomogramm entspricht, hat dafür einen steilen Verlauf.

Der parallele Verlauf bedeutet eine Genauigkeit, die unabhängig von der Körpertemperatur ist. Das war auch zu erwarten, da die Berechnung mit dem Zweischritt-Nomogramm bzw. die Anschlußberechnung die unterschiedliche Körpertemperatur berücksichtigt. Die Werte nach dem

RADFORD-Nomogramm sind nach der gleichen Methode korrigiert worden, woraus auch der fast parallele Verlauf zu erklären ist. Die Werte nach dem NUNN-Nomogramm zeigen eine Abhängigkeit von der Körpertemperatur, da die Einstellung nur nach der arteriellen CO_2-Spannung erfolgte.

Die Treffsicherheit in Abhängigkeit von der Atemfrequenz (Abb. 10) zeigt einen praktisch identischen Verlauf für das NUNN- und das Zweischritt-Nomogramm. Einen gegenläufigen Verlauf zeigt das RADFORD-Nomogramm, wobei eine höhere Atemfrequenz über den dabei tatsächlich größeren Totraum eine bessere Genauigkeit aufweist. Im RADFORD-Nomogramm ist die Atemfrequenz ein direkter Parameter zur Berechnung des Atemminutenvolumens.

Für verschiedene arterielle CO_2-Spannungen (Abb. 11) ergeben die drei Nomogramme einen ähnlichen Verlauf, wobei das RADFORD-Nomogramm eine schlechtere Genauigkeit zeigt.

Insgesamt schneidet das RADFORD-Nomogramm, wie schon aus der Literatur bekannt - was Mittelwert und Streubreite betrifft - sowohl im normothermen (Abb. 12) als auch im hypothermen Bereich (Abb. 13) schlechter ab. Das NUNN-Nomogramm ist im hypothermen Bereich deutlich ungenauer als das Zweischritt-Nomogramm. Die Ungenauigkeit ist im Sinne einer Überschätzung des notwendigen Atemminutenvolumens. Die Einstellung erfolgt, wie schon oben erwähnt, nach der arteriellen CO_2-Spannung und nicht nach der Körpertemperatur. Im normothermen Bereich sind die zwei Nomogramme gleichwertig. Die statistische Untersuchung (Tab. 4) auf Signifikanz untereinander bei Betrachtung des p-Wertes, des Mittelwertes und der Standard-Abweichung ergibt folgendes:

- für das gesamte Patientenkollektiv besteht kein signifikanter Unterschied zwischen dem NUNN- und dem Zweischritt-Nomogramm,
- bei getrennter Betrachtung nach Geschlecht ist die Anwendung des NUNN-Nomogrammes für männliche Patienten und das Zweischritt-Nomogramm für weibliche Patienten am günstigsten,

- die Narkosetechnik, als Beispiel die Neuroleptanästhesie, zeigt keine Bevorzugung eines bestimmten Nomogrammes,
- in der ganzen statistischen Untersuchung schneidet das RADFORD-Nomogramm durch einen hohen Mittelwert und durch eine größere Streubreite am ungünstigsten ab.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird der Aufbau des Zweischrittnomogrammes, ein neues Nomogramm zur Bestimmung des erforderlichen Atemminutenvolumens bei der kontrollierten Beatmung aus Körpergewicht, Größe, Alter und Geschlecht, dargestellt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, durch eine Anschlußberechnung, das notwendige Atemminutenvolumen bei Hypothermie und/oder Hyperventilation zu ermitteln.

Die Brauchbarkeit dieses Nomogrammes wurde bei 69 neurochirurgischen Patienten überprüft und mit den Nomogrammen von RADFORD und von NUNN verglichen. Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem mit dem Zweischrittnomogramm vorausgesagten Wert und dem gemessenen Wert der Ventilationsgröße bzw. dem Kohlensäurepartialdruck im Blut.

Eine ähnliche Genauigkeit wird auch mit dem NUNN-Nomogramm erzielt. Die Voraussage mit dem RADFORD-Nomogramm ist, wie schon aus der Literatur bekannt, im gesamten Temperaturbereich am schlechtesten. Im hypothermen Bereich (28°C bis 33°C) ist die Voraussage mit dem Zweischrittnomogramm genauer als mit dem NUNN-Nomogramm. Die Narkosetechnik zeigt keine Bevorzugung eines bestimmten Nomogrammes.

Anhang

Symbole und Abkürzungen für die Lungenfunktionswerte

V	=	Gasvolumen
$\dot{V}$	=	Gasvolumen/Zeit
P	=	Gasspannung
F	=	Fraktion eines Gases in einem trockenen Gasgemisch
RQ	=	Respiratorischer Quotient
I	=	Inspirationsgase
E	=	Exspirationsgase
A	=	Alveolargase
D	=	Totraumgase
B	=	Barometerstand
STPD	=	Normalverhältnisse (Gasvolumen bei $0^{\circ}C$, 760 mmHg, trocken)
BTPS	=	Körperverhältnisse (Gasvolumen bei $37^{\circ}C$, gemessenem Luftdruck, mit Wasserdampf gesättigt)
ATPS	=	Meßverhältnisse (Gasvolumen bei Umgebungstemperatur und -druck, mit Wasserdampf gesättigt)
a	=	arterielles Blut
v	=	venöses Blut
t	=	Umgebungstemperatur
P_B	=	Luftdruck
V_T	=	Atemvolumen

Literaturverzeichnis

1. NUNN, J.F.: Applied Respiratory Physiology with special reference to anaesthesia. London: Butterworths 1969

2. ULMER, W.T., Reichel, G., Nolte D.: Die Lungenfunktion. Stuttgart: Georg Thieme 1970

3. GEMPERLE, M.: Fortschritte der Neuroleptanalgesie. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1966

4. PETERS, J.P., van Slyke, D.D.: Quantitative clinical chemistry. Baltimore: The Williams & Wilkins 1932. Band 2

5. ENGSTRÖM, G.G., Herzog, P., Norlander O.: A method for the continous measurement of oxygen consumption in the presence of inert gases during controlled ventilation. Acta anaesth. Scandinav. 5, 115-128 (1961)

6. SEVERINGHAUS, J.W., Cullen, S.C.: Depression of myocardium and body oxygen consumtion with fluothane. Anesthesiology 19, 165 (1955)

7. SEVERINGHAUS, J.W.: Blood gas calculator. J. Appl. Physiol. 21: 1108 (1966)

8. GEMPERLE, M.: Medikamentöse Herabsetzung der Sauerstoffaufnahme durch Neuroleptanalgesie. Der Anaesthesist 13, 6 181 (1964)

9. ULMER, W.T., Reichel, G.: Untersuchungen über die Altersabhängigkeit der alveolären und arteriellen Sauerstoff- und Kohlensäuredrucke. Klinische Wochenschrift 41, 1 (1963)

10. FLEISCH, A.: Le métabolisme basal standard et sa détermination au moyen du "Metabocalculator". Helvet. Medica Acta 18 : 23 (1951)

11. RADFORD, E.P.: Ventilation Standards for Use in Artifical Respiration. J. Appl. Physiol. 7, 451 (1955)

12. SEVERINGHAUS, J.W., Stupfel, M.A., Bradley, A.F.: Alveolar Dead Space and Arterial to End-Tidal Carbon Dioxide Differences During Hypothermia in Dog and Man. J. Appl. Physiol. 10 : 394 (1957)

13. NUNN, J.F., Hill, D.W.: Respiratory dead space and arterial to endtidal CO_2 tension difference in anesthetized man. J. Appl. Physiol. 15 (3) : 383-389 (1960)

14. GEDDES, I.C., Gray, T.C.: Hyperventilation for the maintenance of anaesthesia. Lancet 1959 II, 4

15. HOLMDAHL, M.H., Payne, J.P.: Acid-base changes under halothane, nitrous oxide and oxygen anaesthesia during spontaneous respiration. Acta anaesth. Scandinav. 4, 173 (1960)

16. NUNN, J.F., Ezi-Ashi, T.I.: The accuracy of the respirometer and ventigrator. Brit. J. Anaesth. 34, 422 (1962)

17. NUNN, J.F.: Predictors for oxygen and carbon dioxid levels during anaesthesia. Anaesthesia 17, 2 182 (1962)

18. OKMIAN, L.G.: Artifical ventilation by respirator for newborn infants during anaesthesia. Acta anaesth. Scandinav. 7, 31-57 (1963)

19. DÉRY, R.: A simple method of calculating ventilatory requirements in children. Can. Anaes. Soc. J. 10, 2 (1963)

20. RADFORD, E.P., Ferris, B.G., Kriete B.C.: Clinical use of a nomogram to estimate proper ventilation. New. Engl. J. Med. 251, 877 (1954)

21. BÜCH, U., Sewald, M.E., Racenberg, E.: Atemminutenvolumen und endexspiratorischeCO_2-Konzentration bei Erwachsenen in Narkose-beatmung. Der Anaesthesist 21, 299-304 (1972)

22. ROHRER, F.: Pflüger'sche Arch. ges. Physiol. 162 : 225 (1915)

23. BENEDICT, F.G. and F.B. Talbot: Carnegie Institution of Washington, Publication No. 302, 1921

24. AUB, J.C. and Du Bois, E.F.: Arch. Int. Med. 19, 823 (1917)

25. DUNDEE, J.W.: Influance of controlled respiration on dosage of thiopentane and d-tubocurarine chloride required for abdominal surgery. Brit. med. J. II, 893 (1952)

26. HAYES, G.J. and Slocum, H.C.: The achievement of optimal brain relaxation by hyperventilation technics of anaesthesia. J. Neurosurg. 19, 65 (1962)

27. MARRUBINI, M.G., Rossanda, M. and Tretola, L.: The role of artificial hyperventilation in the control of brain tension during neurosurgical operations. Brit. J. Anaesth. 36, 415 (1964)

28. Mc DOWALL, D.G.: The influence of anaesthetic drugs and techniques on intracranial pressure. In a Basis and Practice of Neuroanaesthesia. Monographies in Anaesthesiology Vol. 2, Chapter 5, 135-170
Excerpta Medica Amsterdam-Oxford-New York 1974 (Edit. Emeric Gordon)

29. HUSE, K.: Die kontrollierte Hypotension mit Nitroprussidnatrium in der Neuroanästhesie. Anaesthesiologie und Wiederbelebung Bd. 107 (1977), Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Herrn Professor Dr. med. M. ZINDLER danke ich für die freundliche Überlassung des Themas und für die hilfreiche Diskussion.

Herrn Professor Dr. H. KUHLENDAHL danke ich für die wertvollen Ratschläge.

Herrn Priv.-Doz. Dr. K. HUSE bin ich für die hifreiche Unterstützung bei der Abfassung dieser Arbeit zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Frau ADAM danke ich für die geduldige Schreibarbeit.

LEBENSLAUF

Als Sohn des Dipl.-Ing. Heinrich Nussbaum und seiner Ehefrau Fritza, geb. Stekel, wurde ich am 24.12.44 in Czernowitz/Rumänien geboren.

Die Volks-, Mittel- und Oberschule besuchte ich in Bukarest und bestand 1962 die Reifeprüfung.

Im Wintersemester 1962 begann ich an der Technischen Hochschule in Bukarest Maschinenwesen zu studieren.

Im Jahre 1966 übersiedelte ich mit meinen Eltern in die Bundesrepublik Deutschland und nahm meinen Wohnsitz in Düsseldorf.

Im Wintersemester 1966 setzte ich mein Studium an der Technischen Hochschule Aachen fort, und bekam 1968 den Grad Dipl.-Ing. (Fakultät für Maschinenwesen, Fachrichtung Reaktortechnik).

Im Wintersemester 1968 begann ich an der Universität Düsseldorf das Medizinstudium, wo ich nach zwei Semestern die naturwissenschaftliche und im Sommer 1971 die ärztliche Vorprüfung bestand.

Nach zwei klinischen Semester in Düsseldorf verbrachte ich zwischen 1972 und 1974 drei Semester ander Universität Zürich und nach einem weiteren Semester in Düsseldorf bestand ich im Dezember 1974 die ärztliche Prüfung.

Am 1.2.76 erhielt ich die Bestallung als Arzt.

Zur Zeit arbeite ich in der Rheumaklinik Landesbad Aachen.